

DIE KOMBINIERTE MECHANISCHE UND ELEKTRISCHE STIMULATION DES ATONISCHEN DÜNNDARMES

Experimentelle Untersuchungen und klinische Anwendung

Dr. Lothar Bürger

1973



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546317_0068

Aus der Chirurgischen Klinik mit Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Prof. Dr. med. G. Hegemann)

DIE KOMBINIERTE MECHANISCHE UND ELEKTRISCHE STIMULATION DES ATONISCHEN DÜNNDARMES

Experimentelle Untersuchungen und klinische Anwendung

Der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
als Habilitationsschrift

vorgelegt
von
Dr. Lothar Bürger

1973



Tag der Habilitation: 5.9.1973

Disposition	Seite
A) Einleitung und Problemstellung	2
B) Apparative Technik	4
1. Überblick der bisher verwendeten Elektrodenanordnungen	4
2. Entwicklung einer neuen Ballonreizsonde	8
3. Beschreibung der Reizsonde	10
4. Entwicklung eines neuen Reizgerätes	11
5. Beschreibung des Gerätes	15
C) Tierexperimentelle Untersuchungen	16
1. Versuchstiere	16
2. Induktion einer Darmatonie	16
a) Gruppe I : Atropin	
b) Gruppe II : Gallige Peritonitis	
c) Gruppe III : Hypokaliämie	
3. Messung der Darmmotörrik	17
4. Untersuchungsschema der Gruppe I/II/III	17
a) Aufzeichnung normaler Peristaltik	
b) Wirkung von Atropin und Buscopan auf den Darm	
c) Einwirkung peristaltikanregender Pharmaka	
d) Einfluß des Dehnungsreizes	
e) Effekt der kombinierten mechanischen und elektrischen Stimulation	
f) Bestimmung der Reizparameter	
5. Versuchsanordnung Gruppe I	18
6. Versuchsanordnung Gruppe II	20
7. Versuchsanordnung Gruppe III	20
8. Ergebnisse	21
a) Gruppe I	21
b) Gruppe II	36
c) Gruppe III	38

	Seite
9. Diskussion	44
D) Klinische Anwendung	51
1. Methode	51
2. Ergebnisse	53
3. Diskussion	55
E) Indikationsstellung	56
F) Zusammenfassung	58

Literaturverzeichnis

A. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Operationen und Verletzungen besonders im Bereich des Abdomens führen zu einer physiologischen Ruhigstellung des gesamten Magen-Darm-Kanales (33,49,51,52). Alle drei Funktionen - Sekretion, Resorption und Motorik - liegen darnieder.

Das Gesamtbild, in welches dieser Zustand einzuordnen ist, entspricht dem von SEYLE definierten Stress mit sympathikotoner Reaktionslage als Antwort auf das Operationstrauma(49, 59,69,70,72).

Diese postoperative gastrointestinale Ruhigstellung erstreckt sich über 2 bis 3 Tage, dann setzt die normale Autoregulation wieder ein (51).

In ca. 3 % jedoch ist diese Autoregulation gestört und es entwickelt sich eine postoperative Magen-Darm-Atonie (35,37,51,65). Diese primäre Magen-Darm-Atonie hat mit der sekundären Atonie nach mechanischem Ileus oder bei Peritonitis ursächlich nichts gemeinsam. Sie entwickelt sich ohne morphologisch faßbare Ursache und stellt für den Patienten eine lebensbedrohliche Situation dar. Ihre Letalität beträgt 0,7 % (35,51,26, 66).

Es wurde daher trotz zahlreich beschriebener Behandlungsmaßnahmen (5,15,16,18,21,23,41,45, 46,53,56) immer wieder nach neuen Wegen gesucht, bei postoperativ über die Norm hinaus

sistierender Peristaltik den Darm zu motorischer Aktivität anzuregen. Eine erfolgversprechende Möglichkeit ist die Reizstrombehandlung.

Nachdem SPERLING (61) 1959 erstmals über die erfolgreiche Elektrotherapie des funktionellen Ileus bei 3 Patienten berichtete, hat sich eine Reihe von Untersuchern mit der elektrischen Stimulation des Dünndarmes beschäftigt (1,4,6,8,14,31,32,42,43,44,48,55,61,62,63,64,67,71). Das Prinzip stammt aus der Herzchirurgie und entspricht etwa dem Pacemaker.

Die Reizerfolge am atonischen Darm wurden jedoch von den einzelnen Autoren sehr unterschiedlich beurteilt. Die von einigen angegebenen guten Ergebnisse konnten von anderen nicht oder nur zum Teil bestätigt werden (1,4,8,31,42,62,63,67).

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, diese widersprüchlichen Ergebnisse zu klären. Hierzu wurden zunächst Reizelektroden und ein Stimulationsgerät entwickelt.

In tierexperimentellen Untersuchungen war zu zeigen, ob eine direkte elektrische Reizung des atonischen Darmes zu einer wirksamen Peristaltik führt und gegebenenfalls, die optimalen Reizparameter zu bestimmen. Bei 10 Patienten wurde das Verfahren klinisch angewandt.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen werden die Indikation und die Grenzen der Elektrostimulation des Darmes bei postoperativer, primärer Atonie abgeleitet.

B. APPARATIVE TECHNIK

1. Überblick über die bisher verwendeten Elektrodenanordnungen

Bei den früher in der Literatur beschriebenen Versuchen mit gastrointestinalen Reizgeräten wurden 4 verschiedene Elektrodenanordnungen angegeben:

1. Zwei Plattenelektroden, die taillenförmig der seitlichen Bauchwand angelegt wurden. (61,62), Abb. 1.

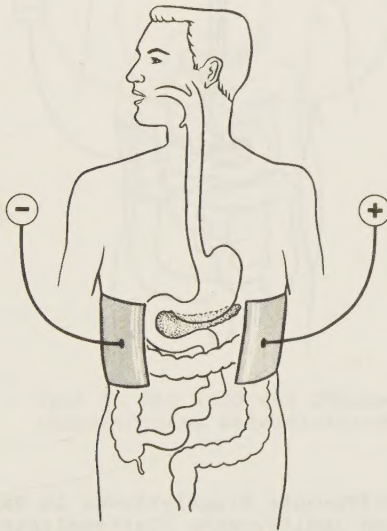


Abb. 1 : 2 der Bauchwand anliegende Platten-
elektroden

2. Eine differente kleine Elektrode in Form eines Platinringes an der Spitze einer Magensonde im Antrum und eine indifferente Plattenelektrode an der seitlichen Bauchwand (4,8,42,48,71), Abb. 2.

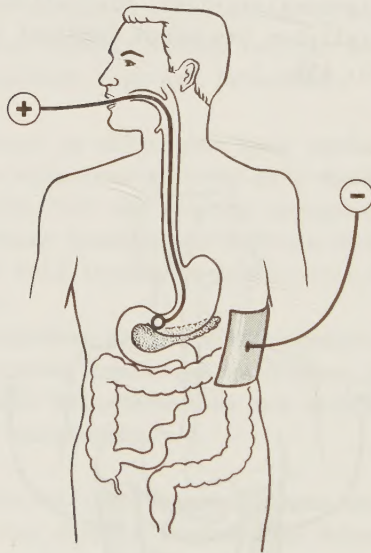


Abb. 2 : Differente Ringelektrode im Magenausgang und indifferente Plattenelektrode der seitlichen Bauchwand anliegend.

3. Zwei in die Darmwand eingestochene Nadelelektroden (63,64,67), Abb. 3.

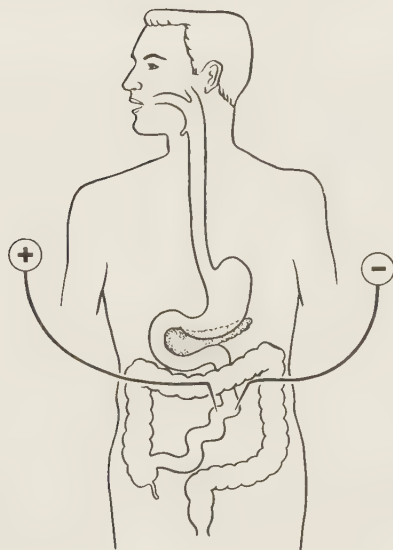


Abb. 3 : Zwei in die Wand des Dünndarmes eingestochene Nadelelektroden.

4. Zwei kleine Elektroden, von denen eine in das Magenantrum, die andere in das Rektum platziert wurde (32), Abb. 4.

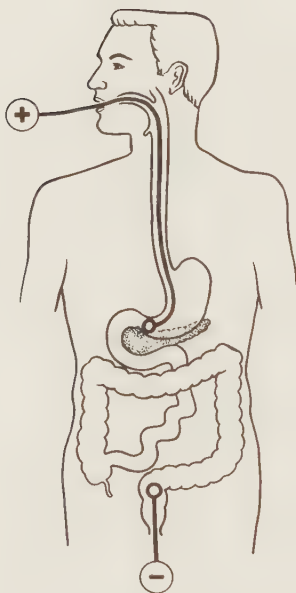


Abb. 4 : Lage der differentiellen Elektrode im Magenantrum und indifferenten Elektrode im Rektosigmoid.

Alle vier Elektrodenarten stellten sich bei unseren Vorversuchen als nicht zufriedenstellend heraus.

Plattenelektroden besitzen besonders bei adipösen Patienten einen zu hohen Widerstand und eine zu geringe Stromdichte am Reizort, so daß hohe Ströme erforderlich sind. Außerdem behindern sie die Pflege des Kranken.

Der Nachteil der Kombination von kleiner intraluminaler Elektrode und indifferenter Plattenelektrode an der Bauchwand besteht darin, daß die differente Elektrode in dem mit Elektrolytlösung gefüllten Darmlumen schwimmt und keinen sicheren Kontakt zur Darmwand hat. Je nach Lage der Elektrode wechselt zudem ständig der Widerstand des Systems. So findet oft keine echte Reizübertragung statt. Das gleiche gilt für die unter 4. beschriebene Elektrodenanordnung.

Die Nadelelektroden erscheinen für die klinische Anwendung ungeeignet, da sie immer eine Laparotomie erfordern. Die Stichinzisionen zur Ableitung der Elektrodenkabel stellen eine zusätzliche Infektionsquelle dar.

2. Entwicklung einer neuen Reizsonde

Unter Berücksichtigung dieser Erwägungen stellen wir für eine in der Klinik anwendbare Elektrodenanordnung folgende Forderungen:

1. Intraluminärer Sitz im Duodenum unterhalb der Papilla Vateri, da hier ein Schrittmacherzentrum für die Dünndarmperistal-

tik, entsprechend dem Sinusknoten, lokalisiert wird (2,10,25,40).

2. Engen Kontakt zur Darmwand, um eine gute Reizübertragung bei möglichst geringem und konstanten Widerstand zu gewährleisten.
3. Einführung ohne Laparotomie, wobei die Elektroden keine zusätzliche Belästigung für den Patienten darstellen sollen.
4. Möglichkeit der gleichzeitigen Dekompression von Magen und Darm durch Absaugen von Gasen und Flüssigkeit.

Diese vier Bedingungen konnten mit der Entwicklung der Ballonreizsonde realisiert werden (Abb. 5,6).



Abb. 5: Die von uns entwickelte Ballonreizsonde

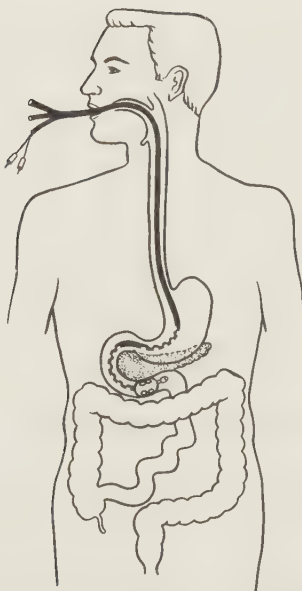


Abb. 6: Position der Ballonreizsonde zum Zeitpunkt der Stimulation

3. Beschreibung der Ballonreizsonde

Die von uns entwickelte Ballonreizsonde besteht aus einem dreilumigen 180 cm langem Gummischlauch von 18 Charrière. An seiner Spitze befindet sich eine Metallolive und unmittelbar danach ein aufblasbarer Latexballon, auf den 4 runde V 2 A - Elektroden von 5 mm Durchmesser aufgebracht sind. Über das kleinste

der 3 Lumina kann der Ballon mit Luft gefüllt und so die Elektroden in Kontakt mit der Darmwand gebracht werden. Unmittelbar hinter dem Ballon finden sich im Abstand von 2 cm 8 Öffnungen, die in das zweite Lumen führen. Hierdurch sowie durch die Olive kann der Darm dekomprimiert werden. Die Drainage des Magens erfolgt über weitere 8 Öffnungen, die 20 cm von der Sondenspitze in das 3. Lumen einmünden. Die von den Elektroden zu dem Impulsgeber führenden Kabel sind in den Gummi der Ballonreizsonde eingeschweißt.

4. Entwicklung eines neuen Reizgerätes

Alle früheren Untersucher verwendeten zur Stimulation des Dünndarmes entweder Rechteck- oder Exponentialströme monophasischen Charakters. WANJURA (67) konnte 1970 zeigen, daß sich bei längerer Stimulationsdauer mit monophasischen Impulsen an der Stelle der Elektroden feine Blasen als Folge elektrolytischer Zersetzung des Gewebes bilden. Gleichzeitig fand er, daß bei der Stimulation des atonischen Darmes mit biphasischen Impulsformen die Peristaltik erheblich schneller einsetzt. Es lag daher nahe, Stimulationsversuche mit sinusförmigem Wechselstrom vorzunehmen.

Im Tierexperiment kam es jedoch bei Wechselstrom von 50 Hz und Stromstärken von 5 - 8 mA häufig zu unerwünschten Kontraktionen der Bauchmuskulatur. Wir führten dies auf eine zu große Anstiegsteilheit der einzelnen Welle zurück.

Ändert man nun die Frequenz eines sinusförmigen Wechselstromes , so ändert sich neben der Dauer der Welle auch deren Anstiegsteilheit.

Es ist die Schwellenstromstärke für ein bestimmtes erregbares Gebilde frequenzabhängig. Sie hat für jedes Organ ein Frequenzoptimum, dessen Lage von der Geschwindigkeit der ablaufenden Erregungsvorgänge bestimmt wird. Es liegt für die markhaltigen motorischen Nervenfasern bei 50 bis 100 Hz, für den langsam leitenden marklosen sympathischen Nerv bei 5 Hz (36).

Sticht man 2 Nadelelektroden in die Darmwand ein, so läßt sich auf einem Meßoszillographen der elektrische Grundrhythmus ableiten. Er besteht in langsamen Schwankungen des Membranpotentials, mit wechselnd aufgesetzten Spikes. (Abb. 7).

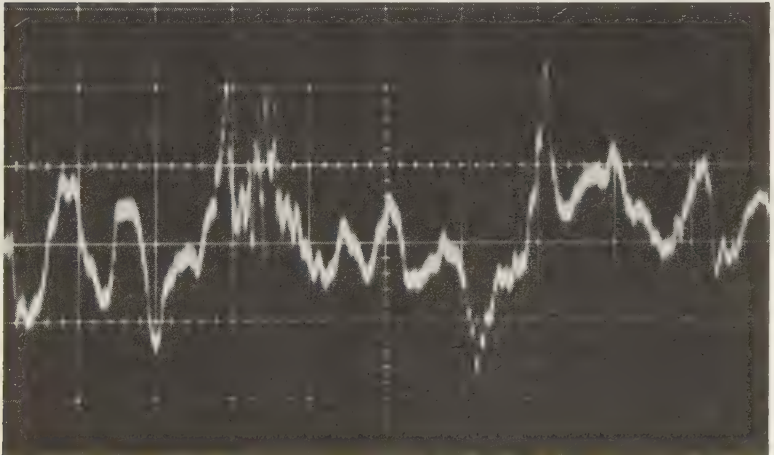


Abb. 7: Elektrischer Grundrhythmus der glatten Muskulatur des Darmes. Kurvenverlauf von links nach rechts.

Registriert man gleichzeitig über einen im Darm unmittelbar unterhalb der Elektroden liegenden Ballon manometrisch den intraluminären Druck, so wird deutlich, daß mit Einsetzen der Spikes es gleichzeitig zu einer Druckerhöhung im Darm kommt (Abb. 8).

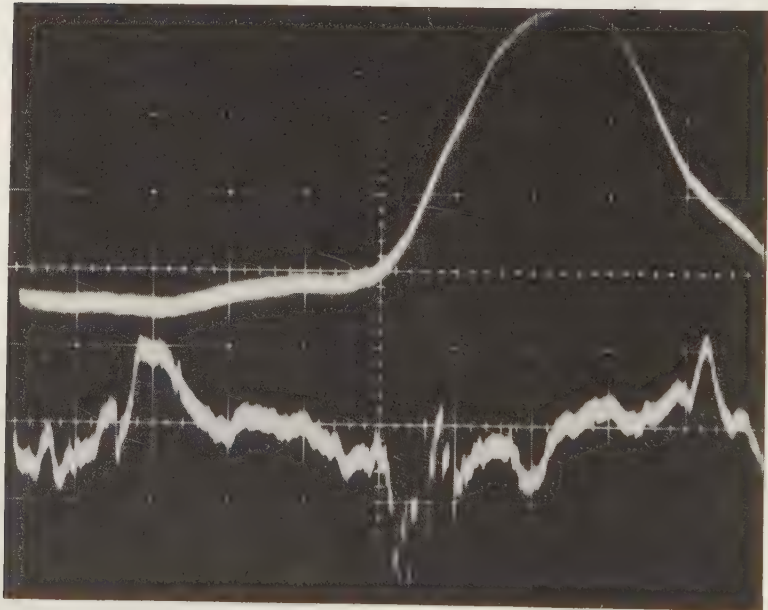


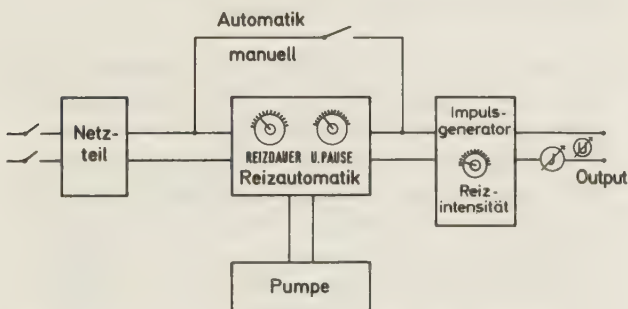
Abb. 8: Obere Kurve - Registrierung des Darminnen-
druckes
Untere Kurve - Elektrischer Grundrhythmus.
Kurvenverlauf von links nach rechts.
Die Breite eines Quadrates entspricht 1 Sekunde.

Diese Spikes haben eine Frequenz in der Größenordnung von 6 -12 Hz (10,2,3,20,22,47).
Wir wählten sinusförmigen Wechselstrom von 20 Hz.
Stimulationsversuche hiermit zeigten, daß, da die unerwünschte Mitreaktion der Bauchmuskulatur weitgehend unterblieb, wir dem Frequenzoptimum der

glatten Muskulatur nahegekommen waren. Durch diese Wahl des Frequenzoptimums konnte eine selektive Reizung der glatten Muskulatur des Darmes erzielt werden.

Die Reaktion der Versuchstiere auf elektrische Reize war sehr unterschiedlich. Während die meisten Tiere bei der von uns gewählten Reizfrequenz keine Nebenreaktionen zeigten, war bei 3 Tieren ein schwaches Mitreagieren der Bauchmuskulatur in Form eines Tremor zu beobachten. Senkt man die Stromstärke bei gleichbleibender Spannung durch Parallelschalten eines Widerstandes, so unterblieb diese Nebenreaktion. Eine gleichzeitige Registrierung des intraluminären Druckes zeigte, daß hierdurch das Stimulationsergebnis nicht beeinträchtigt wurde.

Es wurde daher auf Grund dieser Voruntersuchungen das folgende spannungskonstante Reizgerät entwickelt (Abb. 9,10).



Blockschaltung des Reizgerätes

Abb. 9: Schematischer Überblick über den Schaltplan des von uns entwickelten Reizgerätes

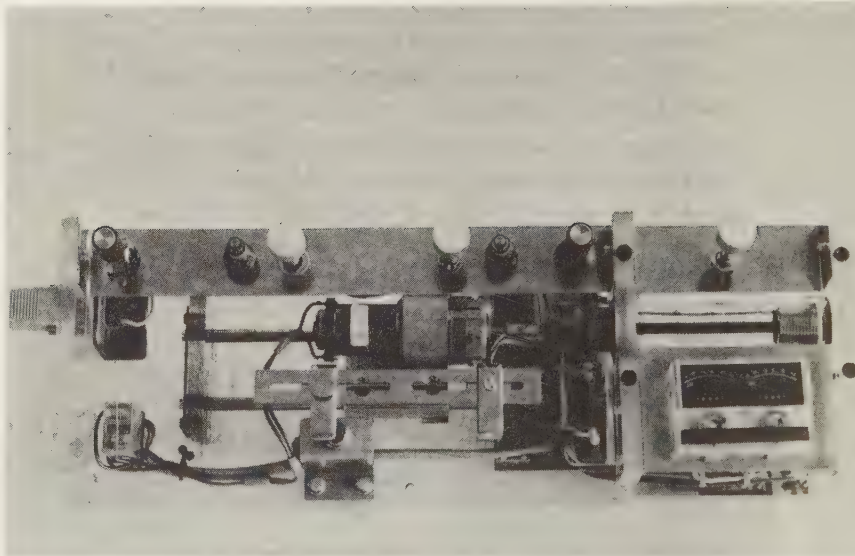


Abb. 10: Chassis unseres Reizgerätes

5. Beschreibung des Reizgerätes

Kernstück des Gerätes ist ein Impulsgenerator, der einen sinusförmigen Wechselstrom von 20 Hz liefert. Dieser Generator wird durch eine elektronische Reizautomatik geschaltet. An 2 Potentiometern können Reizzeiten von 20 Sekunden bis 2 Minuten und Reizpausen von 20 Sekunden bis 5 Minuten stufenlos eingestellt werden. Durch die Zeitautomatik wird eine Kolbenpumpe so synchronisiert, daß der Ballon der Reizsonde nur während der elektrischen Stimulation gefüllt ist. Die Füllzeit des

Ballons kann durch ein Sechsgangplanetengetriebe in der Pumpe den Erfordernissen angepaßt werden. Das Füllvolumen ist zwischen 0 und 50 ml zu variieren. Ein Doppelinstrument zeigt Reizstrom und Reizspannung gleichzeitig an.

Das Gerät liefert im Kurzschlußstrom 30 mA. Die maximale Reizspannung beträgt 15 V_{eff}.

C. TIEREXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

1. Versuchstiere

Es wurden insgesamt 35 Bastardhunde mit einem durchschnittlichen Gewicht von 14,8 kg verwendet. Die Tiere erhielten 12 Stunden vor dem Versuch keine feste Nahrung mehr.

2. Induktion einer Darmatonie

Durch 3 verschiedene Methoden wurde bei den Tieren eine Magendarmatonie herbeigeführt.

- a) Gruppe I: Durch intravenöse Gaben von Atropin und Buscopan (43)
- b) Gruppe II: Durch Induktion einer Hypokaliämie
- c) Gruppe III: Durch eine gallige Peritonitis (64)

3. Messung der Darmmotorik

Zur Beurteilung der motorischen Darmaktivität diente die intraluminäre Darmanometrie. (1,9,28,29).

Hierzu wurde ein Ballon von 5 cm Länge und einem Volumen von 30 ml in den Dünndarm eingebracht. Der Meßballon wurde mit 25 ml Wasser gefüllt und nach Entlüftung des Systems über einen Druckumwandler mit einem Manometer der Firma Telco M 41 R verbunden. Die Registrierung des Druckes erfolgte mit dem Kompensografen der Firma Siemens bei einem Papieranschub von 3 cm/min.

4. Untersuchungsschema für Gruppe I/II/III

- a) Registrieren normaler Nüchternperistaltik.
- b) Wirkung von Atropin und Buscopan auf die Darmmotorik an Hand des intraluminären Druckes (nur Gruppe I).
- c) Einwirkung von Ubretid, Doryl, Prostigmin, Acetylcholin, Paspertin und Bepanthen auf den atonischen Darm.
Nach intravenöser Gabe der gesamten Pharmaka wurde ihr Einfluß auf die Darmmotilität beobachtet.
- d) Einfluß des Dehnungsreizes durch die Ballonreizsonde ohne zusätzliche elektrische Stimulation.

- e) Wirkung der kombinierten mechanischen und elektrischen Stimulation auf den atonischen Dünndarm.
- f) Bestimmung der Reizstärke, der Reizdauer und der Reizpause, bei der eine optimale Reizantwort des Darmes erfolgt.
(Nur Gruppe I).

5. Versuchsanordnung der Gruppe I

Bei 15 Tieren wurde nach Anlegen einer Infusion mit 5%iger Glukose über eine Vene am Vorderlauf die Narkose mit 50 bis 100 mg Trapanal eingeleitet und während des gesamten Versuches mit dem gleichen Narkosemittel fortgeführt. Die Tiere wurden regelmäßig intubiert, jedoch nicht beatmet. Nach Rückenlagerung, Rasur und Desinfektion der Bauchhaut mit Kodanlösung erfolgte die Eröffnung des Abdomens durch einen medianen Oberbauchschnitt. Die Ballonreizsonde wurde durch eine Inzision in der Magenvorderwand in das Duodenum eingeführt und mit dem Impulsgeber und der darin eingebauten Pumpe verbunden. 60 cm distal von der Reizsonde wurde über eine Inzision im Dünndarm die Ballonreizsonde zur Messung des intraluminären Druckes in das Jejunum eingelegt und an die Messapparatur angeschlossen. (Abb. 11).

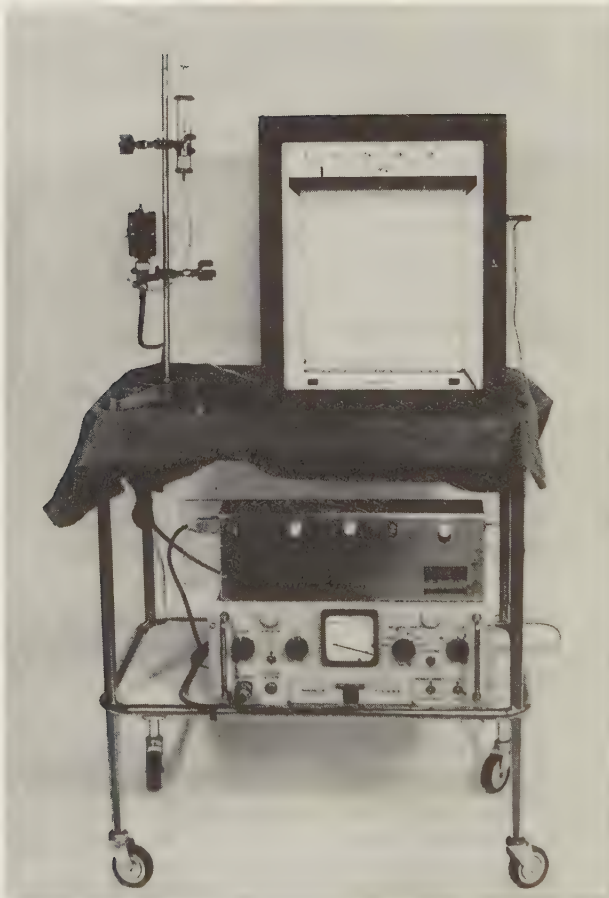


Abb. 11: Versuchsanordnung.
Oben von links nach rechts Druckum-
wandler, Kompensograph. Darunter von
oben nach unten Reizgerät und Mano-
meter.

Der Verschuß des Abdomens unterblieb, so daß
während des gesamten Versuchs der Dünndarm
freilag und beobachtet werden konnte.

Über die Dauer von 20 Minuten registrierten wir
zunächst den Darminnendruck bei normaler Peri-
staltik. Dann erfolgte die intravenöse Injek-

tion von 0,125 mg/kg Körpergewicht sowie 2 Ampullen Buscopan comp. je Versuchstier.

6. Versuchsanordnung der Gruppe II

Bei 10 Tieren wurde täglich in Trapanalnarkose ein Einlauf mit 40,0 g Resonium A vorgenommen. Der Kationenaustauscher wurde über ein Darmrohr mit einer Blasenspritze in das Rektum eingebracht und verblieb dort 4 Stunden. Während dieser Zeit war das Tier in Narkose, das Darmrohr mit einer Kocher-Klemme verschlossen und im Rektum belassen, um ein Ausfließen des Einlaufes zu verhindern. Die Serumkaliumwerte wurden täglich mit dem Flammenphotometer bestimmt.

Bei 5 Hunden wurde nach Erreichen eines Serumkaliumwertes von durchschnittlich 3,1 mval/l, bei den weiteren 5 nach durchschnittlich 2,3 mval/l, wie unter Versuchsanordnung I beschrieben, laparotomiert und die Ballonreizsonde sowie die Ballonsonde zur Messung des intraluminalen Druckes im Darm plaziert.

7. Versuchsanordnung der Gruppe III

5 Tiere bekamen nach einer kleinen Laparotomie 50 ml Gallenflüssigkeit in die Bauchhöhle instilliert.

Bei weiteren 5 Tieren erfolgte eine Eröffnung der Gallenblase durch Stichinzision, so daß die Galle freien Abfluß in den Bauchraum hatte.

Die ersten 5 Tiere wurden nach 24 Stunden und

die restlichen 5 Tiere nach 36 Stunden relaparotomiert und die Reiz- und Drucksonden in der Weise plaziert, wie es unter der Versuchsanordnung der Gruppe I beschrieben ist.

8. Ergebnisse

a) Gruppe I

1. Nach Einlegen des Meßballons konnten 2 Formen spontaner Darmaktivität vor der Injektion von Atropin und Buscopan beobachtet werden. Es fanden sich Druckwellen vom Typ I nach Code (17) mit einer Frequenz von ca. 3/min. und einer Amplitude von 5 - 10 cm Wassersäule (Abb. 12).

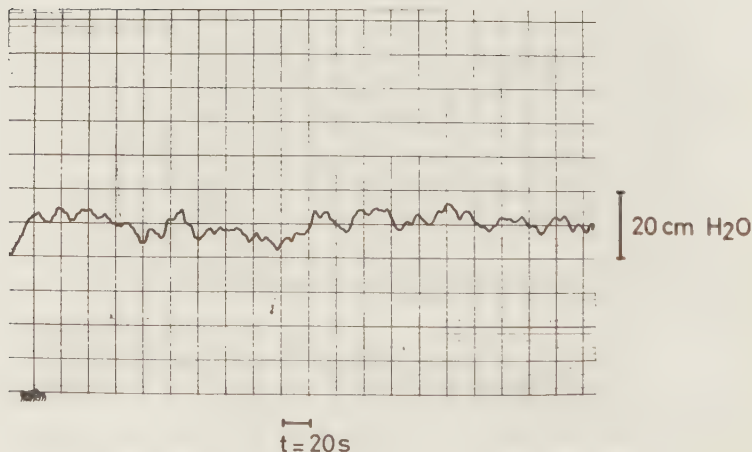


Abb. 12: Typ I der intraluminaren spontanen Druckentwicklung. Kurvenverlauf von rechts nach links.

Daneben ließen sich Druckabläufe vom Typ III mit Anstieg der Grundlinie, der Druckwellen von einer Amplitude bis 40 cm Wassersäule aufgesetzt werden registrieren (Abb. 13).

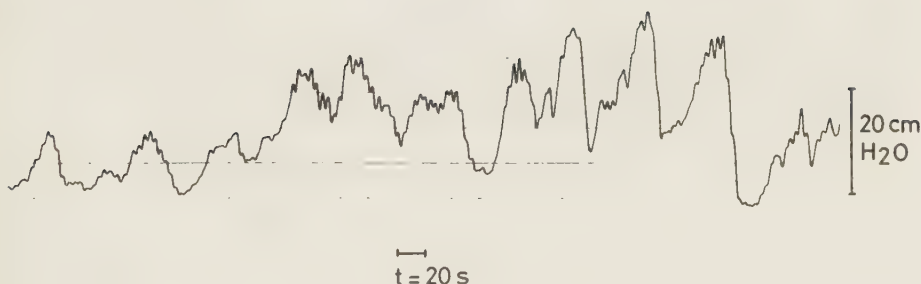


Abb. 13: Typ III der Druckwellen. Kurvenverlauf von rechts nach links.

Während bei Typ I lediglich segmentale Kontraktionen des Darmes beobachtet werden konnten, waren beim Auftreten der Druckwellen vom Typ III von proximal nach distal ablaufende Kontraktionen zu erkennen.

2. Nach intravenöser Verabreichung von Atropin und Buscopan ließen sich nach durchschnittlich 2 Minuten keine meßbaren Aktivitäten mehr nachweisen. Das Instrument zeigte Nulllinie (Abb. 14).

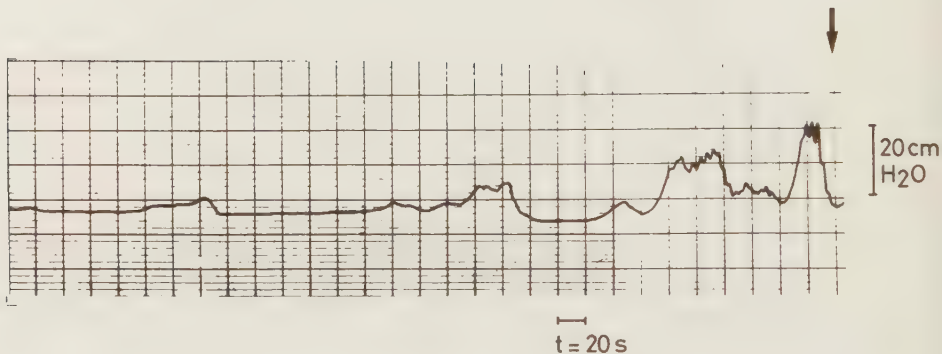


Abb. 14: Wirkung von Atropin auf die Motorik des Dünndarmes ↓ Injektion von Atropin. Kurvenverlauf von rechts nach links.

3. Durch Injizieren von Ubretid, Doryl, Prostigmin, Acetylcholin, Paspertin und Bepanthen konnte nach einer Beobachtungsdauer von 1 Stunde keine meßbare Drucksteigerung im Darmlumen ausgelöst werden.

4. Der isolierte Dehnungsreiz durch Füllen des Reizballons mit Luft war ebenfalls nicht in der Lage, eine meßbare Aktivität des Darmes zu induzieren.

5. Nach Einsetzen der kombinierten mechanischen und elektrischen Stimulation kommt es nach einer Latenzzeit von etwa 10 Sekunden zu einer meßbaren Druckerhöhung. Zu Beginn wurde zunächst jeder Einzelreiz mit einer Druckwelle von durchschnittlich 45 Sekunden Dauer und einer Amplitude bis zu 40 cm Wassersäule beantwortet. Jeder elektrische Reiz löste eine angedeutete Kontraktionswelle aus (Abb. 15).

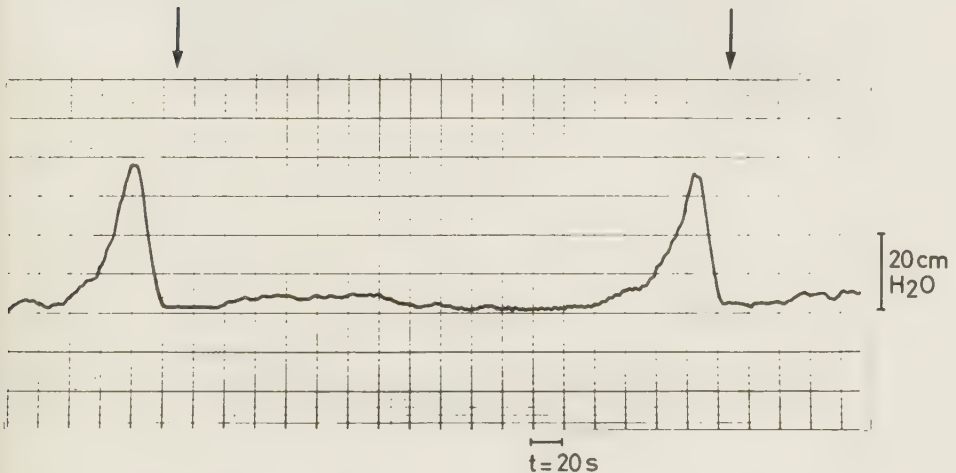


Abb. 15: Durch Stimulation induzierte Druckwellen. In den Reizpausen kein Druckanstieg. Kurvenverlauf von rechts nach links.

Nach einer Stimulationszeit von 1 Stunde traten dann in den Reizpausen zunehmend Druckschwankungen auf. Diese waren über einen Zeitraum von 1 - 2 Minuten zu verfolgen und entsprachen der Eigenaktivität des Darmes (Abb.16).

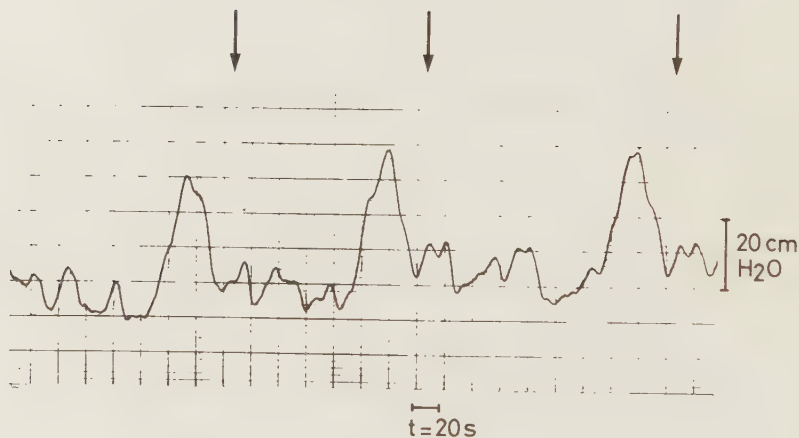


Abb. 16 : Durch Stimulation ↓ bedingte Druckwellen mit Nachschwankungen in den Reizpausen . Kurvenverlauf von rechts nach links.

Die peristaltischen Wellen nahmen an Intensität ab (Abb. 17).



Abb. 17: Peristaltische Welle nach 1 Stunde
Stimulationszeit

Nach Reizzeiten von durchschnittlich 10 Stunden nahmen die stimulierten Druckwellen sowie die ihr folgenden Nachschwankungen an Amplitude ab (Abb. 18).

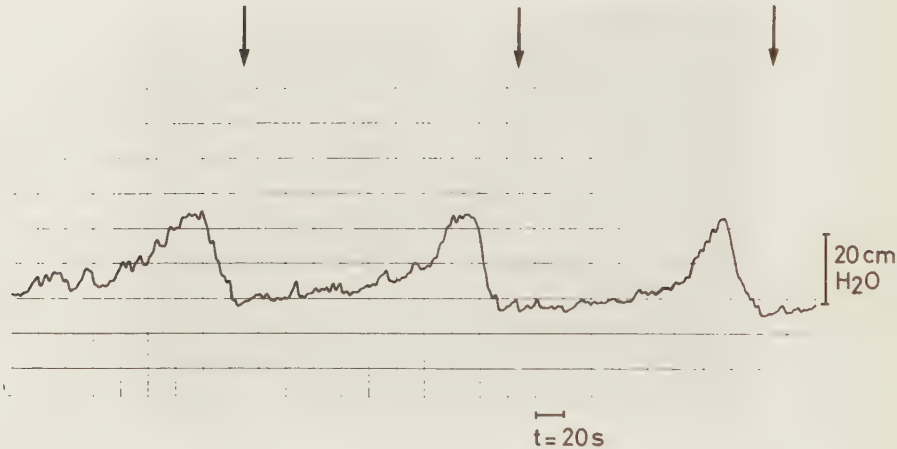


Abb. 18: Druckwellen nach 10 Stunden Reizzeit.
Abnahme der Amplitude. Kurvenverlauf
von rechts nach links. ↓ Stimulation.

6. Der Anstieg des Darminnendruckes ist abhängig von der Reizspannung (Abb. 19).

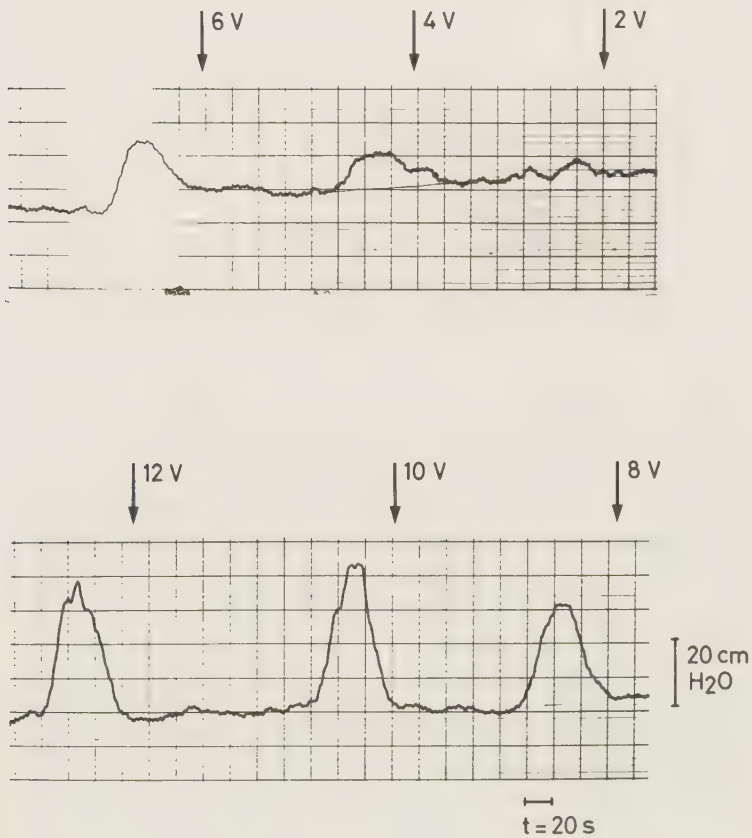


Abb. 19: Abhängigkeit der Druckamplitude von der Reizspannung. Kurvenverlauf von rechts nach links. ↓ Stimulation.

Die maximale Druckentwicklung war mit einer Spannung von 10 V zu erzielen. Meßbare Drucke traten jedoch schon bei 2 V auf (Abb. 20).

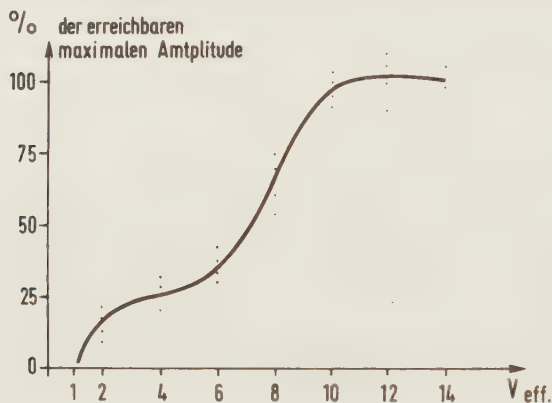


Abb. 20: Abhängigkeit des Druckes, angegeben in Prozent der maximal erreichbaren Amplitude, von der Reizspannung,

Die optimale Reizzeit betrug bei 10 V Reizspannung 40 Sekunden (Abb. 21,22).

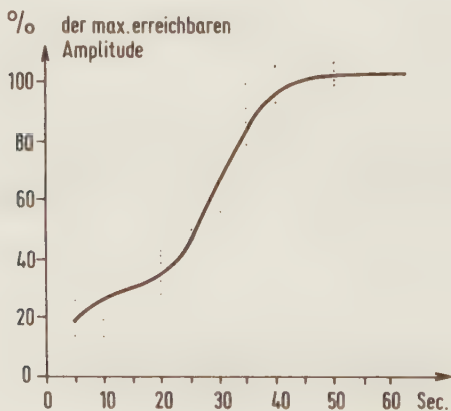


Abb. 21: Abhängigkeit des Druckes, angegeben in Prozent der maximal erreichbaren Amplitude von der Stimulusdauer. $U = 10 V_{eff}$.

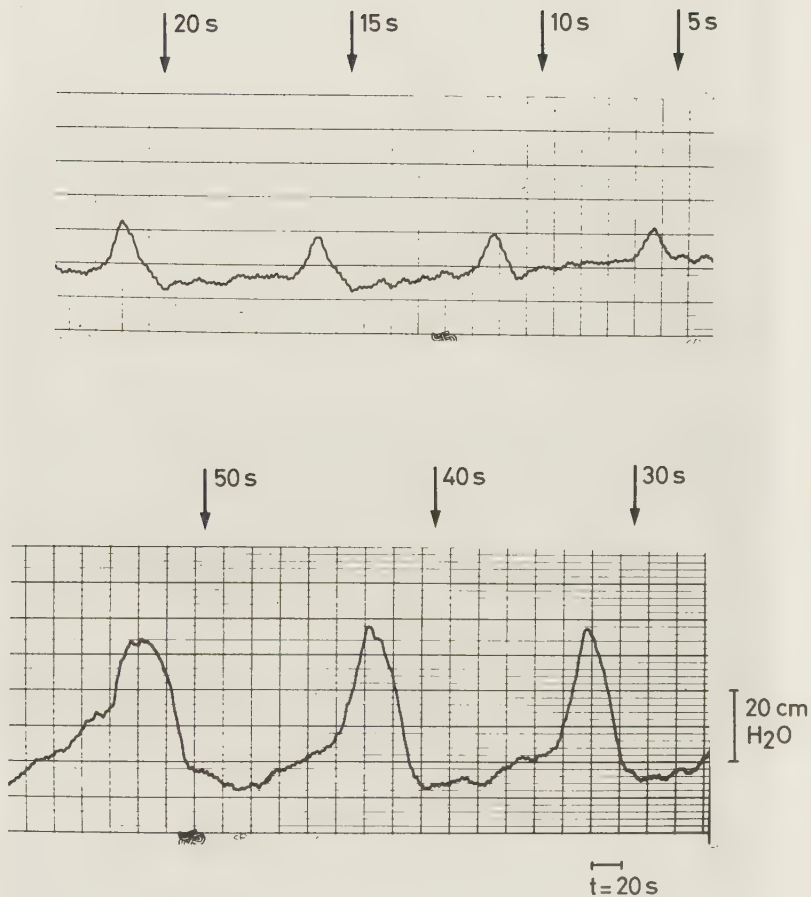


Abb. 22: Abhängigkeit der Druckamplitude
von der Dauer des Einzelreizes ↓ .
Kurvenverlauf von rechts nach links.

Stimuli von 5 bis 20 Sekundendauer wurden nur ineffektiv beantwortet (Abb. 23 a , b,c,d).

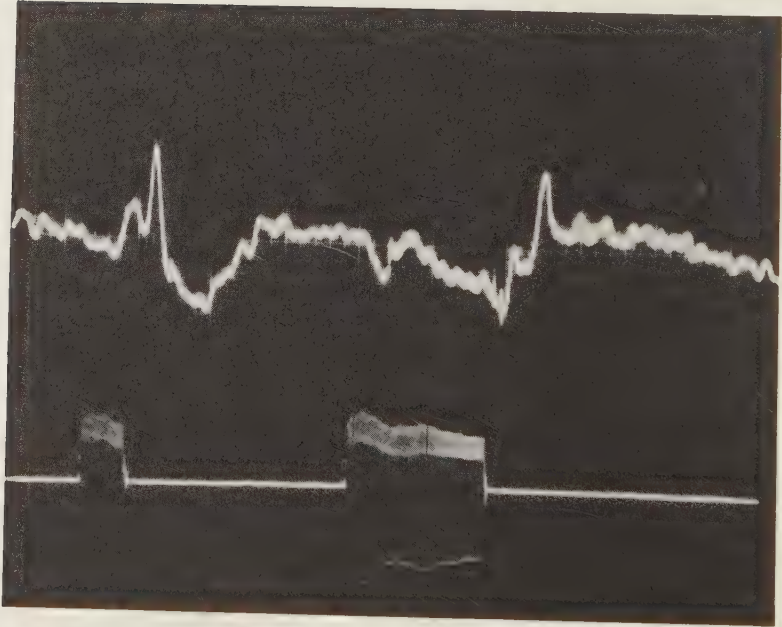


Abb. 23 a: Dauer des Einzelreizes 10 Sekunden und 20 Sekunden.

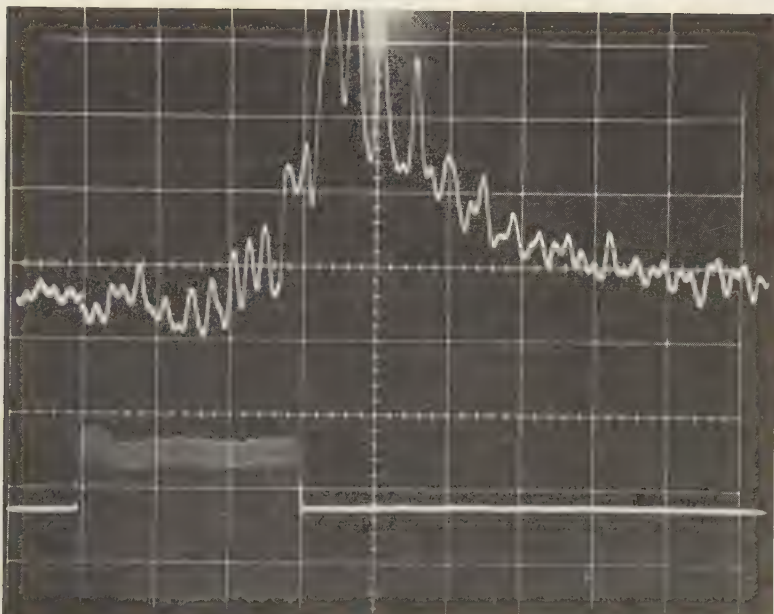


Abb. 23 b : Dauer des Einzelreizes 30 Sekunden.

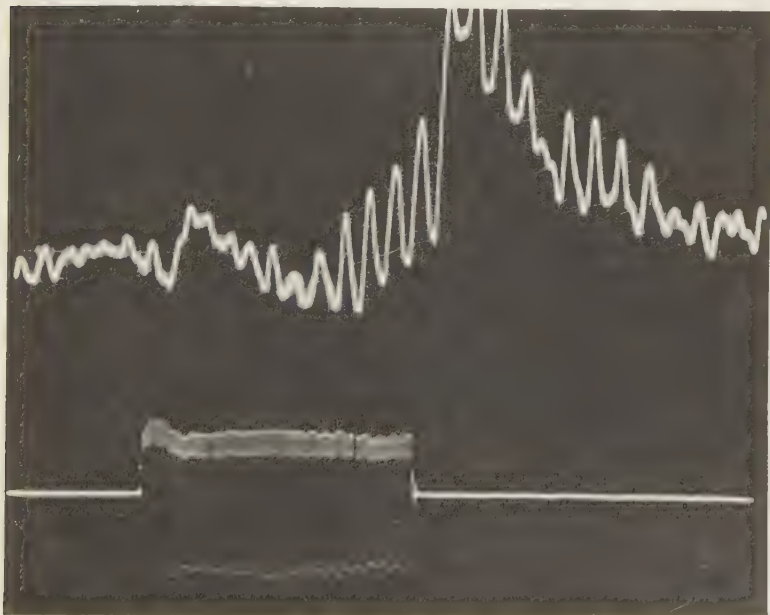


Abb. 23 c : Dauer des Einzelreizes 38 Sekunden.

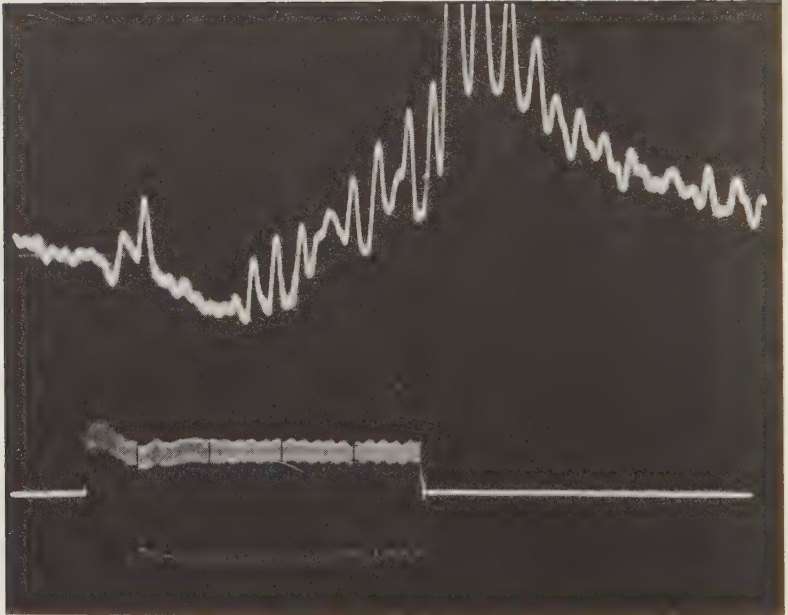


Abb. 23 d: Dauer des Einzelreizes 48 Sekunden.

Abb. 23 a - d: Oszillographische Darstellung von Dauer des Einzelreizes und der hiervon abhängigen intraluminalen Druckentwicklung. Kurvenverlauf von links nach rechts. Die Höhe eines Quadrates entspricht 10 cm Wassersäule und die Breite 10 Sekunden.

Erst Reizzeiten von 30 und 40 Sekunden ließen Druckwellen mit einer Amplitude von 30 - 40 cm Wassersäule erkennen (Abb. 23 b,c).

Eine längere Stimulationsdauer erhöhten weder Amplitude noch Dauer der Welle (Abb. 23 d).

Zwischen den einzelnen Reizen war eine Pause von mindestens 3 Minuten notwendig, um die maximale Druckamplitude im Dauerversuch zu erreichen. Bei Reduktion des stimulationsfreien Intervalles von 3 Minuten auf 2 Minuten erfolgte ein Druckabfall von 40 %. (Abb. 24).

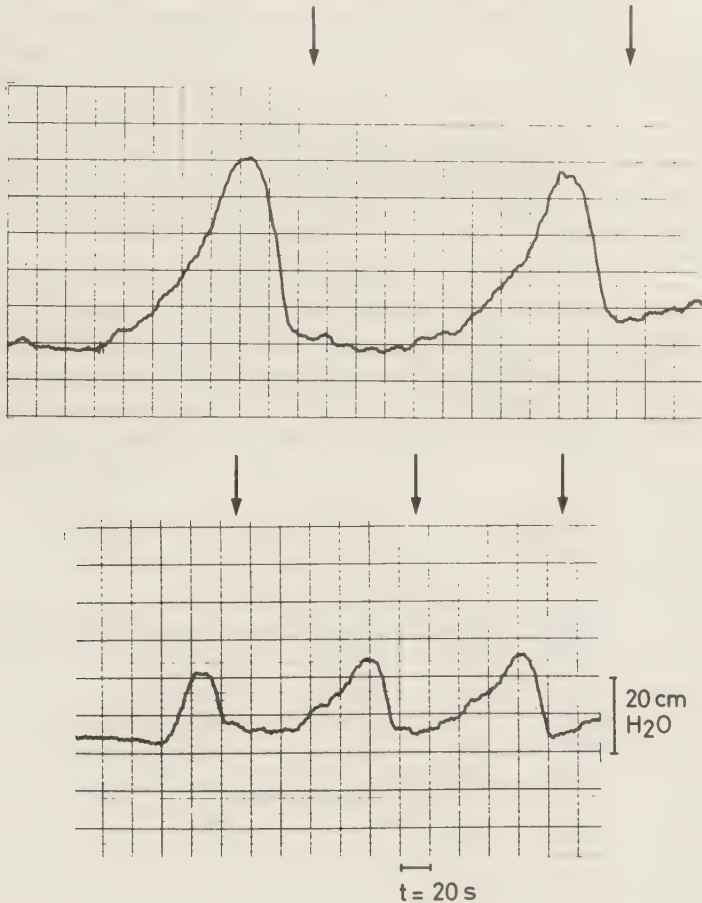


Abb. 24: Abhängigkeit der Amplitudenhöhe von den Reizpausen.

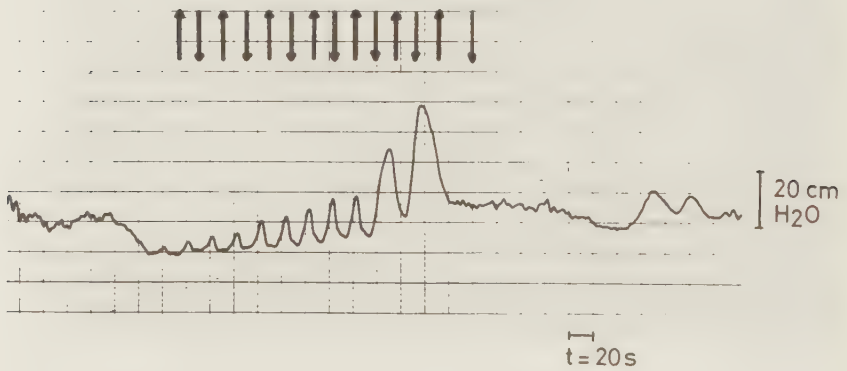


Abb. 25: Ermüdung des Darmes durch unmittelbar aufeinanderfolgende Reize.↓

Auf unmittelbar hintereinanderfolgende Reize war der Darm nicht mehr zu einer Druckentwicklung fähig (Abb. 25).

b) Gruppe II

1. Durch Einläufe mit Resonium A war ein mittlerer Serum-Kalium-Wert von 3,1 mval/l nach durchschnittlich 6 Tagen erreicht. Nach der Laparotomie und Einlegen des Meßballons war in einem Beobachtungszeitraum von 1 Stunde keine spontane Aktivität an Hand der Darmmanometrie zu erkennen.

2. Durch Injektion der peristaltikfördernden Pharmaka sowie durch Dehnungsreiz konnte keine registrierbare Druckerhöhung erzielt werden.

3. Die kombinierte mechanische und elektrische Stimulation induzierte Druckwellen mit einer Amplitude bis 35 cm Wassersäule. In den Reizpausen wurde jedoch auch nach einer Stimulationsdauer von 10 Stunden keinerlei Eigenmotilität des Darmes beobachtet (Abb. 26).

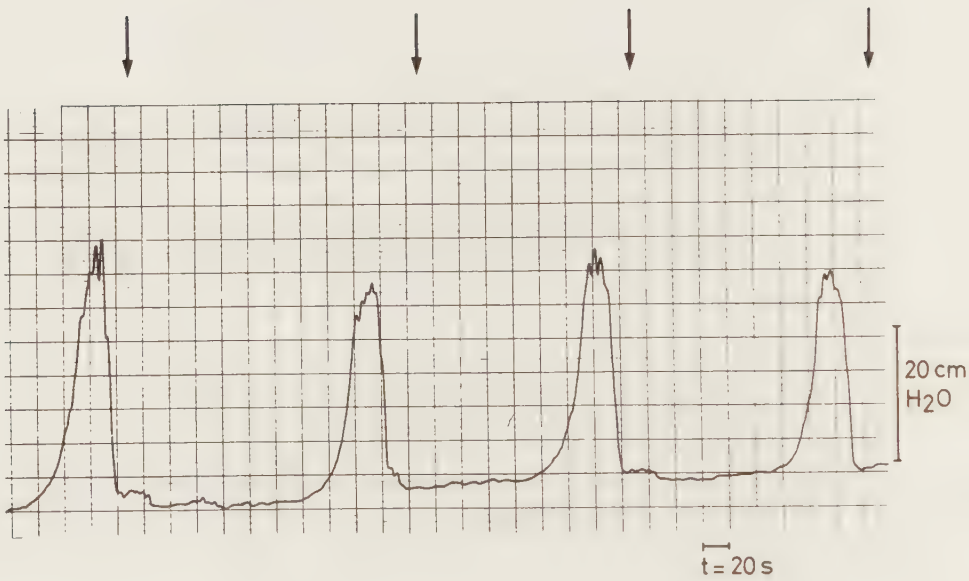


Abb. 26: Durch mechanische und elektrische Stimulation ↓ induzierte Druckwellen bei Hypokaliämie. Kurvenverlauf von rechts nach links.

Nach 10 Tagen wiesen die Versuchstiere ein Serumkalium von durchschnittlich 2,3 mval/ auf. Die bestehende Motilitätsruhe war weder durch Medikamente, noch durch Dehnung allein, noch durch 12stündige intermittierende kombinierte Stimulation zu beeinflussen.

c) Gruppe III

1. Nach Instillation von 50 ml Galle in die Bauchhöhle bestand nach Ablauf von 24 Stunden eine leichte Peritonitis (Abb. 27,28).



Abb. 27: Leichte Peritonitis des Dünndarmes infolge Instillation von Galle in die Bauchhöhle.

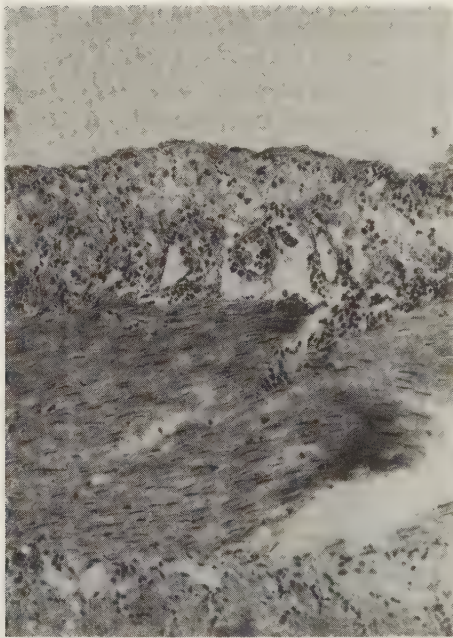


Abb. 28: Leichte Peritonitis der Darmwand nach Instillation von Galle in die Peritonealhöhle. Nr. 36, Formol, H.E., Vergr. 215:1.

Eine spontane Aktivität des Darmes konnte auch nach Ablauf einer Stunde nach Einführung des Meßballons nicht registriert werden.

2. Weder die Injektion der Pharmaka, noch die Dehnung der Darmwand führte eine meßbare Peristaltik herbei.

3. Nach Einsetzen der mechanischen und elektrischen Reizung kam es bei einer Stimulsdauer von 40 Sekunden und einer Spannung von 10 V zu Druckwellen mit einer Amplitude bis 35 cm Wassersäule (Abb. 29).

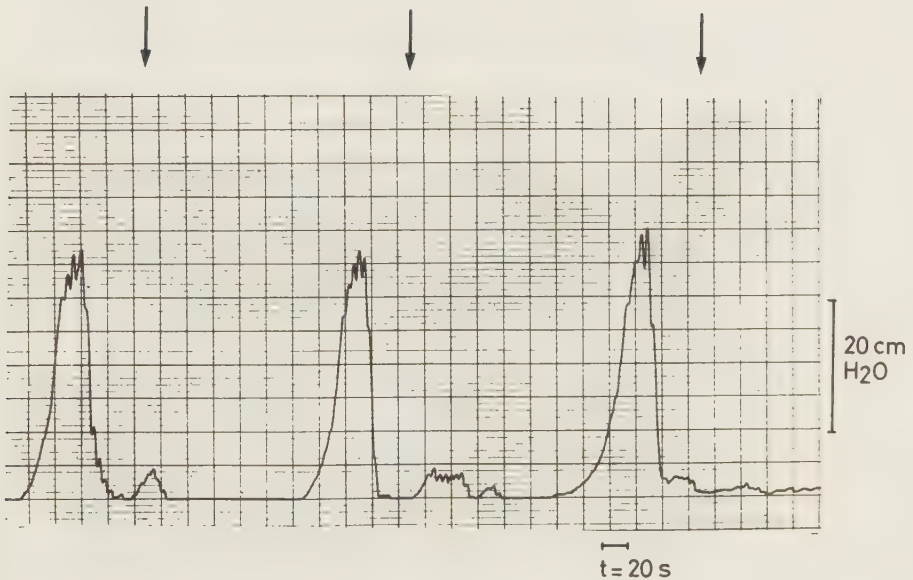


Abb. 29: Durch Stimulation ↓ induzierte Druckwellen bei leichter Peritonitis.
Kurvenverlauf von rechts nach links.

Nach kontinuierlicher Stimulation des Darmes mit Reizpausen von 4 Minuten kam es nach einer Stunde zu Drucknachtschwankungen in den stimulationsfreien Intervallen und deutlich sichtbar ablaufenden Kontraktionswellen (Abb. 30, 31).

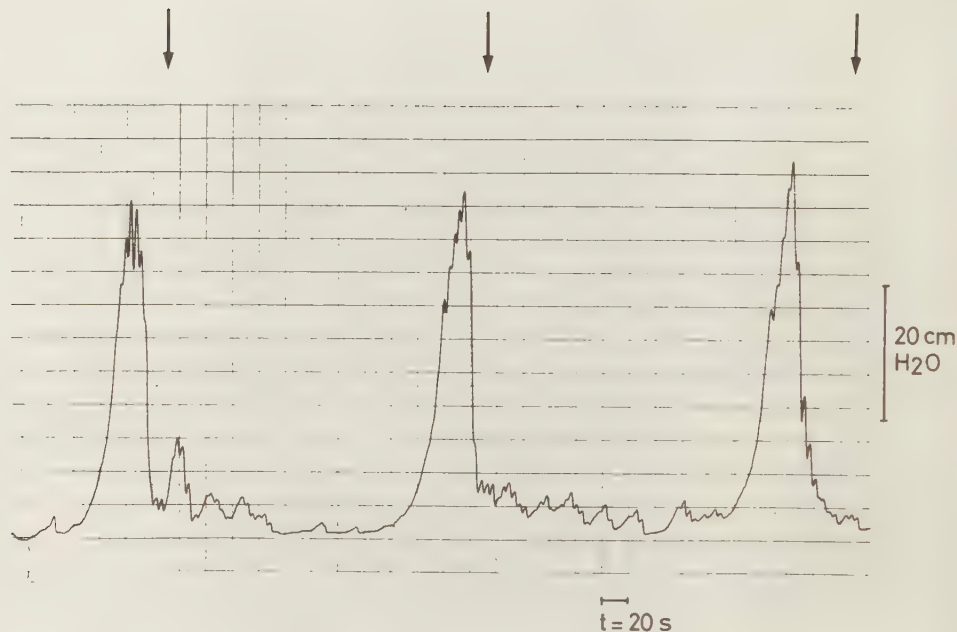


Abb. 30: Durch Stimulation ↓ ausgelöste Druckwellen mit Eigenaktivität des Darmes bei leichter Peritonitis nach 1 Stunde Reizzeit. Kurvenverlauf von rechts nach links.

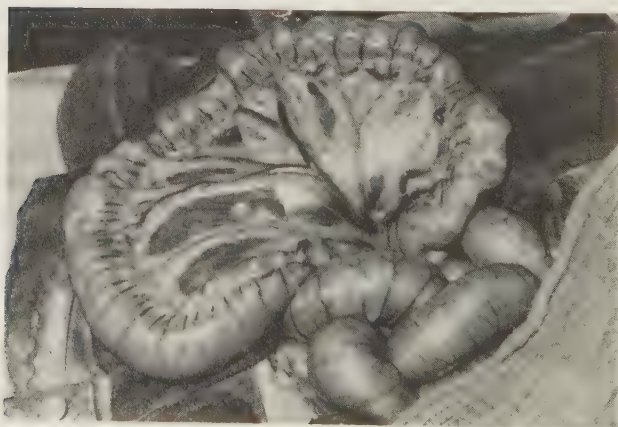


Abb. 31: Peristaltische Wellen bei leichter Peritonitis nach 1 Stunde Stimulationszeit.

Bei allen Tieren, bei denen die Gallenblase eröffnet und die Gallenflüssigkeit freien Ab-
lauf in die Peritonealhöhle besaß, bestand
nach 36 Stunden eine ausgeprägte Peritonitis.
(Abb. 32,33).

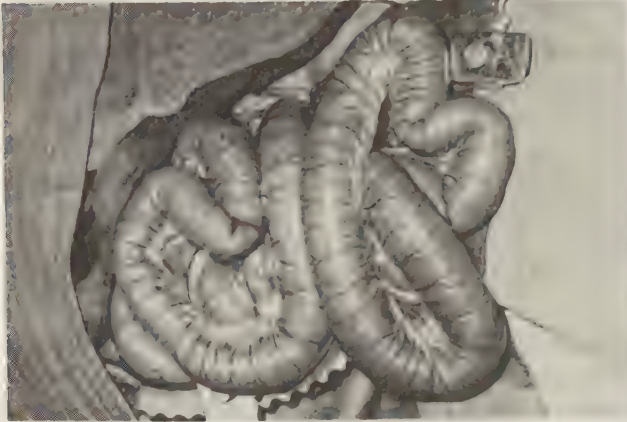


Abb. 32: Schwere gallige Peritonitis der Darmwand

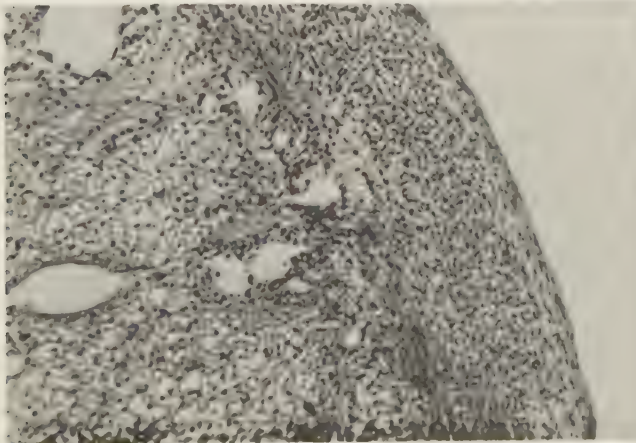


Abb. 33: Nr. 39 - Schwere Peritonitis der Darmwand,
Formol, Paraffin, HE, Verg. 115:1.

Der mit Flüssigkeit und Luft gefüllte Darm war dilatiert und ließ keinerlei Eigenaktivität erkennen. Das Manometer zeigte Nulllinie.

Diese absolute motorische Ruhe ließ sich auch weder durch die Verabreichung peristaltikfördernder Pharmaka, noch durch die kombinierte mechanische und elektrische Stimulation über 24 Stunden nicht durchbrechen.

9. Diskussion

Die in der Literatur widersprüchlichen Bewertungen der elektrischen Stimulation des atonischen Darmes wurden von einigen Autoren auf den unsicheren Kontakt der verwendeten Elektroden zur Darmwand zurückgeführt (22,27).

Dies veranlaßte uns, eine neue Elektrodenanordnung in Form der Ballonreizsonde zu entwickeln. Durch Aufblasen des Ballons erhalten die auf ihm angebrachten Elektroden engen Kontakt zur Wand des Darmes. Somit bleibt der Widerstand im System innerhalb kleiner Grenzen konstant. Eine direkte Reizübertragung ist gewährleistet.

Vorversuche zeigten, daß ein ständig mit 30 ml Luft gefüllter und mit Metall beschichteter Ballon nach 24 Stunden eine Schädigung des Darmes mit einer haemorrhagischen Nekrose der Mukosa und der Muskularis mucosae verursacht, wohl auf Grund einer lokalen Durchblutungsstörung. Deshalb durfte der Ballon nur kurzzeitig während der Stimulation gefüllt werden. Danach traten auch im Dauerversuch über 24 Stunden bei Reizzeiten von 40 Sekunden und Reizpausen von 4 Minuten keine histologisch nachweisbaren Schäden auf. Außerdem stellt die durch den Ballon bedingte zusätzliche intermittierende Dehnung des Darmes einen weiteren Reiz zur Kontraktion dar. Die Ballonreizsonde wurde so konstruiert, daß durch 2 getrennte Lumina Magen und Darm dekomprimiert werden können. Sie besitzt also neben der Möglichkeit der Elektrostimulation noch alle Vorteile der langen Darmsonden (5,23,30,34).

Wechselstrom zur Anregung der peristaltischen Aktivität des atonischen Darmes wurde bisher noch nicht angewendet. WANJURA (67) war der erste, der auf die Nachteile monophasischer Impulse hinwies und mit biphasischen Stromformen arbeitete. Er konnte gleichzeitig zeigen, daß biphasische Impulse schneller die Aktivität des atonischen Dünndarmes herbeiführen konnten.

Zu Beginn unserer Tierversuche traten bei Verwendung von monophasischen Rechteck- und Exponentialströmen mit Frequenzen, wie sie von den anderen Autoren (8,31,32,61) verwendet wurden, gehäuft Reaktionen der quergestreiften Muskulatur auf. Das gleiche konnten wir bei Stimulationsversuchen mit Wechselstrom von 50 Hz beobachten. Unser Ziel war daher, zunächst dem Prinzip der selektiven Reizung möglichst nahe zu kommen. Bei der Verwendung sinusförmigen Wechselstromes von 20 Hz unterblieb dann bei den meisten Versuchstieren die unerwünschte Mitreaktion der Bauchmuskulatur. Die gleichzeitige Messung von Reizstrom und Reizspannung zeigte schließlich, daß bei der von uns als optimal gefundenen Reizspannung von 10 V Nebenreaktionen erst bei einer Stromstärke von mehr als 7 mA auftraten. Diese Stromstärken liegen über der für eine maximale Reizantwort benötigten Reizstromstärke. Das Auftreten unerwünschter Nebenreaktionen kann man deshalb durch Senken der Reizstromstärke bei gleicher Reizspannung vermeiden, ohne den Reizerfolg zu gefährden.

Der Ohm'sche Widerstand des Systems Reizsonde - Darm schwankte bei allen Versuchstieren zwischen 500 und 1500 Ohm. Die Ursache hierfür ist in der unterschiedlichen Beschaffenheit des Darminhaltes, des Darmkalibers sowie den Elektrolytverhältnissen zu suchen. Für einunddasselbe Versuchstier schwankte der Widerstand bei unserer Elektrodenanordnung nur um etwa 20 %. Das bedeutet, daß man den gesamten Widerstand beim Einsatz am Patienten abstimmen muß, um die Stromstärke im nebenwirkungsfreien Bereich halten zu können.

Auf Grund dieser Erkenntnisse entwickelten wir ein spannungskonstantes Reizgerät, das einen Wechselstrom von 20 Hz liefert und mit einer Strombegrenzung von 30 mA den amtlichen Sicherheitsbestimmungen entspricht.

Durch ein Doppelinstrument kann sowohl Stromstärke als auch Spannung getrennt gemessen und so ein Kurzschluß oder ein Fehler an der Apparatur sofort erkannt werden.

Die Bedienung des Gerätes wurde im Hinblick auf den späteren klinischen Einsatz bewußt einfach gehalten. Nach einmaligem Einstellen von Reizzeit und Reizpause arbeitet der Stimulator automatisch. Das Gerät ist so konstruiert, daß bei Bedienungsfehlern und Defekten keine Gefährdung des Patienten eintreten kann. Aus diesem Grunde wurde auch zum Füllen des Ballons der Reizsonde dem Prinzip der Kolbenpumpe den Vorzug gegeben, da hier die maximale Füllmenge durch das Volumen des Kolbens vorgegeben ist. Das kontinuierliche Einbringen von Luft in den Darm

bei einem Defekt des Sondenballons ist damit ausgeschlossen.

Eine Nüchternruhe der Darmmotilität war nicht zu beobachten (17,22). Unter Berücksichtigung der Kontraktionskraft und des Tonus konnten an Hand der Darmmanometrie 2 Arten von Druckkurven ermittelt werden (17).

Wellen von 5 - 10 cm Wassersäule wechselten mit Salven hoher Amplitude. Nach Code (17) handelt es sich bei den Druckwellen kleiner Amplitude um den Typ I, bei denen mit großer Amplitude bis 50 cm Wassersäule um den Typ III. Typ I entspricht der Segmentationsbewegung und Typ III der Transportperistaltik (2,10,17).

Ein vollständiges Sistieren der Motilität ließ sich durch intravenöse Gaben von Atropin in einer Dosierung von 0,125 mg/kg Körpergewicht infolge Hemmung des Vagus und Überwiegen des Sympathikotonus herbeiführen. Durchschnittlich 2 Minuten nach Injektion war kein intraluminaler Druck mehr zu registrieren.

Diese völlig darniederliegende Peristaltik ließ sich durch intravenöse Verabreichung peristaltikfördernder Pharmaka nicht durchbrechen. In einem Beobachtungszeitraum von 1 Stunde kam es zu keiner nennenswerten Druckentwicklung.

Auch die Dehnung der Darmwand, die als starker Reiz zur Kontraktion beschrieben wird, blieb ohne Effekt.

Nach Beginn der elektrischen und mechanischen Stimulation lassen sich sofort Druckwellen mit einer Amplitude bis zu 50 cm Wassersäule registrieren, die mit dem Typ III des Code'schen Schemas identisch waren. Während zunächst in den Reizpausen keine Eigenaktivität zu verzeichnen war, traten nach durchschnittlich 1 Stunde Stimulationszeit Drucknachtschwankungen auf. Die zunächst angedeutet ablaufende Peristaltik nahm gleichzeitig an Intensität zu.

10 Stunden nach Versuchsbeginn ließ sich eine deutliche Amplitudenabnahme der durch Stimulation induzierten Druckwellen sowie der folgenden Nachschwankungen nachweisen. Die Ursache hierfür dürfte in der langdauernden Narkose, der Unterkühlung und Austrocknung des während der gesamten Versuchsdauer freiliegenden Darmes bestehen. Der gesamte Intestinaltrakt wies zu diesem Zeitpunkt Merkmale einer Hypoxie auf. Die gleichzeitig auftretende Frequenzsteigerung von Puls und Atmung waren als Zeichen einer Verschlechterung des Allgemeinzustandes der Versuchstiere zu bewerten.

Als optimalen Stimulus fanden wir in Übereinstimmung mit allen anderen Autoren eine Stromstärke von 5 - 7 mA bei einer Spannung von 10 V_{eff.} (8,31,42,63,67).

Nach 40 Sekunden Dauer des Einzelreizes war bei unserer Impulsform der beste Reizerfolg zu beobachten. Diese Zeit lag damit um das 4 - 6fache höher als die der anderen Untersuchungen (8,31,42,63,67,71).

Die Dauer der Pausen zwischen den einzelnen Reizen war ebenfalls für den optimalen Stimulationserfolg sehr wichtig. Bei Reizpausen von 3 Minuten waren keine Ermüdungserscheinungen zu beobachten. Kürzere Pausen verursachten eine Abnahme der Amplituden.

Die in der Literatur (64) beschriebene, nach 1 Stunde auftretende Motilitätsruhe durch Einbringen von 20 ml Gallenflüssigkeit konnte von uns nicht beobachtet werden. Erst nach Instillation von 50 ml Galle in die Peritonealhöhle durch Laparotomie entwickelte sich innerhalb von 24 Stunden eine leichte Peritonitis, die eine völlige Peristaltikruhe zur Folge hatte. Diese ließ sich weder medikamentös, noch durch Dehnungsreize unterbrechen. Durch die kombinierte mechanische und elektrische Stimulation konnten gleich zu Beginn Druckwellen vom Typ III mit Amplituden bis zu 50 cm Wassersäule und ange-deutet ablaufende Kontraktionen ausgelöst werden. Diese waren nach einer mittleren Reizzeit von 1 Stunde als geordnet ablaufende peristaltische Wellen sichtbar. Gleichzeitig traten in den Reizpausen wie schon bei den mit Atropin induzierten Atonien Drucknachtschwankungen auf.

Bei den Tieren mit eröffneter Gallenblase bestand eine schwere Peritonitis. Infolge Gas- und Flüssigkeitsansammlung war der Darm erheblich dilatiert. Die Darmwand ließ ein mäßiggradiges Oedem auf. Eigenaktivität war nicht zu erkennen. Diese ließ sich auch weder medikamentös, noch durch mechanische und elektrische Stimulation induzieren.

Voraussetzung für die Erregungsfähigkeit und die Kontraktilität ist die Ausbildung eines Membranpotentials an der Oberfläche der Zellen. Diese hängt von der Elektrolytverteilung zwischen intra- und extrazellulärem Raum ab. Potentialbestimmend sind in erster Linie Kalium- und Natriumionen. Besonders der Kaliummangel hemmt die Erregbarkeit der Zelle (10,11,12,13,19,38,39).

Es wurden deshalb Elektrostimulationen des Darmes bei hypokaliämischen Versuchstieren durchgeführt. Da aus technischen Gründen der intrazelluläre Kaliumgehalt nicht bestimmt werden konnte, galt als Maß das Serunkalium. Bei Kaliumwerten von 2,3 mval/l ist jedoch wahrscheinlich, daß auch ein erheblicher Mangel in der Zelle besteht.

Diese Tiere ließen manometrisch absolute Peristaltikruhe erkennen. Der Darm war durch keine der von uns angewandten Maßnahmen zu motorischer Aktivität anzuregen.

Bei den Tieren mit einem Kaliumgehalt von 3,1 mval/l war ebenfalls ein völliger Stillstand der Motorik an Hand der intraluminären Druckmessung zu registrieren. Mit der kombinierten mechanischen und elektrischen Reizung ließ sich aber eine Peristaltik induzieren, die jedoch in den Reizpausen wieder zum völligen Erliegen kam. Im Gegensatz zu den mit Atropin und einer leichten Peritonitis herbeigeführten Atonie, kam es zwischen den Einzelstimuli auch nach einer Gesamtstimulationsdauer von 12 Stunden zu keinen meßbaren Drucknachtschwankungen und zu keinerlei spontaner Eigenaktivität des Darmmuskels.

Die tierexperimentellen Ergebnisse zeigen, daß die kombinierte mechanische und elektrische Stimulation des atonischen Darmes meß- und sichtbare Peristaltik auszulösen vermag. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein funktions-tüchtiger Darmmuskel. Bei grober Störung des Elektrolythaushaltes, insbesondere bei Kalium-mangel sowie bei einer diffusen ausgeprägten Peritonitis mit bestehender schwerer Schädigung der Darmwand ist die glatte Muskulatur des Darmes zu keiner Kontraktion mehr fähig und Reize aller Art, auch des elektrischen Stromes, bleiben erfolglos.

D. KLINISCHE ANWENDUNG

Die Messung der Dünndarmpassagezeit ist wohl die objektivste Methode, um die Effektivität der kombinierten mechanischen und elektrischen Stimulation zu beurteilen. Wir legten daher bei 10 Patienten, die einer weitgehend standardisierten Operation unterzogen wurden, die Ballonreizsonde und bestimmten an Hand von Kontrastmittel die Passagezeit des Darmes (1).

1. Methode

10 Patienten, denen wegen beiderseitigem Beckenarterienverschluß transperitoneal eine aorto-femorale Y-förmige Dacronprothese implantiert wurde, erhielten intraoperativ eine Ballonreizsonde, deren Spitze am Treitz'schen Band lag.

Die Praemedikation erfolgte bei allen Patienten mit 2 ml Thalamonal und 0,5 mg Atropin. Die Narkose wurde mit 25 - 50 mg Trapanal eingeleitet und nach Intubation mit Sauerstoffflach-

gas weitergeführt. Zur Relaxation ist Succinylcholin in einer durchschnittlichen Dosierung von 80 mg verwendet worden.

Die mittlere Operationszeit betrug 4,5 Stunden. Postoperativ wurde im Abstand von 6 - 8 Stunden 1 Ampulle Fortral gegen Schmerzen verabreicht.

Eine Stunde nach beendeter Operation instillierten wir durch das in das Duodenum führende Lumen der Ballonreizsonde 60 ml Mikropaque in einer Verdünnung von 1:1 und bestimmten durch Röntgenaufnahmen des Abdomens die Lage des Kontrastmittels (Abb. 34).



Abb. 34: Abdomenübersichtsaufnahme nach Einführung der Ballonreizsonde und Instillation von Kontrastmittel in den Dünndarm.

Alternierend erfolgte dann bei 5 Patienten eine Stimulation des Darmes, während bei den anderen 5 der Kontrollgruppe nicht stimuliert wurde. Den Kontrastmitteltransport dokumentierten wir durch Röntgenübersichtsaufnahmen des Abdomens nach 6, 12, 18 und 24 Stunden.

2. Ergebnisse

Die Ergebnisse veranschaulicht die Tabelle 1. Unter der Stimulation war das Kontrastmittel bei 4 der operierten nach 12 Stunden und bei einem nach 18 Stunden im Coecum. 5 Patienten der Kontrollgruppe hatten dagegen nach 24 Stunden Kontrastmittel im Dickdarm und einer erst im unteren Ileum.

Patienten stimuliert	<u>Kontrastmittel im Coecum nach</u>			
	6 Std.	12 Std.	18 Std.	24 Std.
1	-	+	+	+
2	-	+	+	+
3	-	+	+	+
4	-	+	+	+
5	-	-	+	+
Patienten nicht stimuliert				
1	-	-	-	+
2	-	-	-	+
3	-	-	-	+
4	-	-	-	+
5	-	-	-	-

Tab. 1: Überblick über die Kontrastmittelpassagezeit am stimulierten und nicht stimulierten Darm an einem Krankengut von 10 Patienten (Beckenarterienersatz).

3. Diskussion

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß durch die kombinierte mechanische und elektrische Stimulation die Passagezeit des Dünndarmes beim Frischoperierten beschleunigt wird. Das vor die Reizsonde plazierte Kontrastmittel war unter Stimulation nach 6 Stunden im terminalen Ileum, bei 4 der Patienten nach 12 Stunden und bei einem nach 18 Stunden im Coecum nachweisbar.

Bei der Kontrollgruppe dagegen lag das Kontrastmittel nach 6 Stunden noch am Ort der Instillation und hatte erst nach 18 Stunden das terminale Ileum und nach 24 Stunden bei 4 Patienten das Coecum erreicht. Dieser Befund ist insofern interessant, als wir keine länger dauernde absolute Motilitätsruhe, wie sie in der Literatur beschrieben wird (52,69), feststellen konnten.

Der absolute Stillstand der Motorik erstreckte sich nach unseren Ergebnissen über 7 Stunden. Dann nahm der Darm seine Transportfunktion auf. Diese absolute, unmittelbar postoperativ bestehende Peristaltikruhe, die als unbeeinflussbar angesehen wird (52), läßt sich mit der mechanischen und elektrischen Stimulation durchbrechen. Es wird eine Peristaltik induziert, die in der Lage ist, das Kontrastmittel innerhalb von 12 Stunden den Dünndarm passieren zu lassen und in das Coecum zu transportieren. Im Gegensatz zu der Kontrollgruppe hatten alle Patienten, bei denen stimuliert wurde, nach 36 Stunden Windabgang zu verzeichnen. Der Zeitpunkt des ersten Stuhlganges war bei beiden Patientengruppen gleich. Beide entleerten am 3. Tag

postoperationem Stuhl nach Einlauf. Dies bedeutet, daß die Motorik des Dickdarmes durch die kombinierte Stimulation vom Duodenum aus nicht zu beeinflussen ist.

E. INDIKATIONSSTELLUNG

Wie aus den Untersuchungen hervorgeht, ist mit der kombinierten Stimulation eine meßbare Peristaltik und eine Beschleunigung der Dünndarmpassage unmittelbar postoperativ zu erreichen. Der Erfolg der Stimulation ist jedoch weitgehend an die Funktionsfähigkeit der Darmmuskulatur gebunden. Bei schwerer Schädigung der Darmmuskulatur, wie Hypokaliämie der Muskelzelle, massive Dilatation des Darmes und ausgeprägter Peritonitis, bleibt die kombinierte mechanische und elektrische Stimulation erfolglos.

Der Übergang von physiologischer, postoperativer Ruhigstellung zur primären Magen-Darm-Atonie erfolgt aber schrittweise. Es fehlen zunächst größere Störungen des Kaliumstoffwechsels sowie eine durch Fäulnis bedingte Gasbildung und Überdehnung der Darmwand. Es besteht am Anfang lediglich ein über die Norm hinaus anhaltender Sympathikotonus (7,52). Dieser läßt sich jedoch mit der Elektrostimulation durchbrechen, da zu diesem Zeitpunkt ein noch funktionsuntüchtiger Muskel vorliegt.

Hieraus ergibt sich die Indikation zur Elektrostimulation (Abb. 35).

CIRCULUS VITOSUS DER DARM-ATONIE

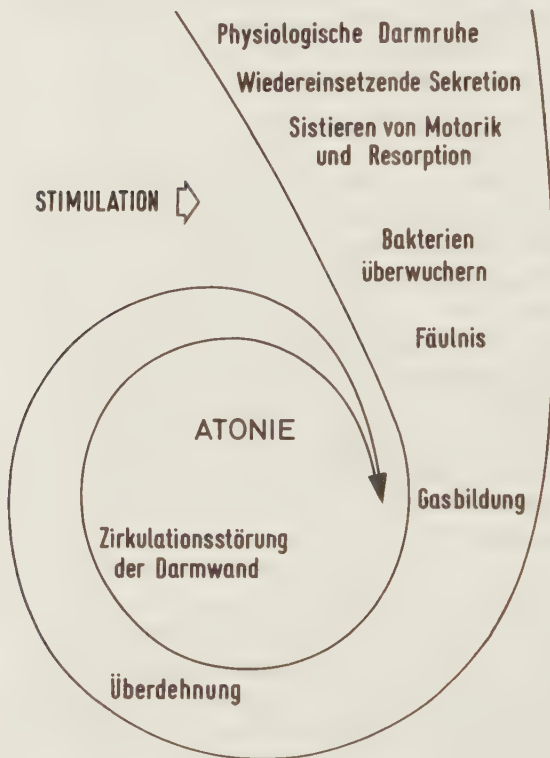


Abb. 34: Circulus vitiosus der primären Magen-Darm-Atonie. Der Pfeil zeigt den günstigsten Zeitpunkt, an dem mit der Stimulation begonnen werden sollte.

Fehlen am 2. postoperativen Tag die Darmgeräusche als Zeichen motorischer Aktivität, so sollte mit der Elektrostimulation begonnen werden, um den Circulus vitiosus der Atonie und damit einer Schädigung der Darmwand vorzubeugen.

Bei Patienten, die durch langdauernde Eingriffe in der Bauchhöhle besonders zur Atonie neigen, sollte schon während der Operation die Ballonreizsonde gelegt werden, um bei Ausbleiben der Peristaltik sofort mit der Stimulation beginnen zu können. Selbstverständlich müssen postoperativ die Serumelektrolytwerte täglich kontrolliert und gegebenenfalls substituiert werden. Gleichsam muß das Vorliegen eines mechanischen Ileus vor Beginn der Stimulation ausgeschlossen werden.

F.ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde ein spannungskonstantes Reizgerät sowie eine Ballonreizsonde zur kombinierten mechanischen und elektrischen Stimulation des atonischen Dünndarmes entwickelt.

Im Tierexperiment erfolgte bei 15 Hunden durch Gaben von Atropin und Buscopan die Induktion einer Darmatonie. Die durch die kombinierte Stimulation induzierte Peristaltik ließ sich durch intraluminäre Darmmanometrie aufzeichnen. Nach 1 Stunde Stimulationszeit waren deutlich ablaufende peristaltische Wellen erkennbar.

Die optimale Dauer des Einzelstimulus lag bei 40 Sekunden mit reizfreien Intervallen von 3 Minuten. Der beste Stimulationserfolg konnte bei einer Reizspannung von 10 V_{eff.} beobachtet werden.

Die Grenzen des Verfahrens waren bei Tieren mit ausgeprägter Hypokaliämie und massiver Peritonitis aufzuzeigen. In diesen Fällen blieb die kombinierte mechanische und elektrische Stimulation ohne Einfluß auf die Peristaltik.

Postoperativ wurde an 5 Patienten, bei denen ein Ersatz der Beckenarterien durch Kunststoffprothesen vorgenommen war, die Methode der kombinierten Stimulation angewendet. Die Dünn-darmpassagezeit dieser Patienten wurde mit der von 5 einer Kontrollgruppe verglichen. Unter Stimulation war bei 4 Patienten das Kontrastmittel nach 12 Stunden, bei einem Patienten nach 18 Stunden im Coecum angelangt. Bei der Kontrollgruppe war bei 4 Patienten nach 24 Stunden das Kontrastmittel im Dickdarm und bei einem im unteren Ileum nachweisbar.

Die Methode der kombinierten elektrischen und mechanischen Stimulation war sowohl im Tierexperiment, als auch in der klinischen Erprobung erfolgreich und ist als prophylaktische und therapeutische Maßnahme bei sich entwickelnder Magen-Darm-Atonie sinnvoll.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. BACH-NIELSEN, P, P.BADEN, A.M. CHRISTENSEN: Controlled radiological evaluation of an intestinal pacemaker (Peristart).
Scand.J.Gastroent. 1, 138, (1966)
2. BASS, P., C.F. CODE, E.H. LAMBERT: Motor and electrical activity of the duodenum.
Am. Journal of Physiology, 201, 287, (1961)
3. BASS, P.: Electrical activity of smooth muscle of the gastrointestinal tract.
Gastroenterology, 49, 391, (1965)
4. BECK, H.: Prophylaxe und Behandlung der postoperativen Darmatonie.
Langenbecks Archiv klin. Chir. 308, 190, (1964)
5. BEHREND, W.: Die intraoperative Applikation der Miller-Abbot-Sonde.
Chir.Prax. 8, 345, (1964)
6. BERGERT, T., J. KEWENTER, N. KOCK: Gastrointestinal Pacemaker.
Nord.Med. 74, 1031, (1965)
7. BERNING, W.: Die Diagnose des paralytischen Ileus.
Dtsch.med.Wschr. 92, 1235, (1967)
8. BILUGTAY, A.M., R. WINGROOVE, W.C. GRIFFIN, R.C. BONNABEAU, C.W. LILLEHEI: Gastrointestinal pacing; A new concept in the treatment of ileus.
Ann. Surg. 158, 338, (1963)
9. BRODY, D.A., J.P. QUIGLEY: Registration of digestive tract intraluminal pressures.
Methods M. Research 4, 109, (1951)
10. BROOKS, F.P.: Control of gastrointestinal function.
An introduction to the physiology of the gastrointestinal tract.
The Macmillan Company, New York (1970)

11. BULBRING, E.: Smooth muscle of the alimentary tract.
In: Modern Trends in Gastroenterology.
2nd Ed. Editor: E. Avery Jones, Butterworth,
London (1958)
12. ----- : Die Physiologie des glatten Muskels.
Pflügers Archiv, 273, 1, (1961)
13. BURNSTOCK, G., C. L. PROSSER: Conduction in smooth muscle
comperative electrical properties.
Am. J. Phys. 199, 553, (1960)
14. BUSCH, J.: Neue Wege der Niederfrequenztherapie durch
funktionell gezielte Reizung mittels Variation der
Stromkurvenform und der Impulsfolge.
Arch. f. phys. Ther. 1, (1951)
15. CATCHPOLE, B. N.: Ileus: Use of sympathetic blocking
agents in its treatment.
Surgery, 66, 811, (1969)
16. CLAUS, D.: Klinische Erfahrungen in der Anwendung der
Dünndarmfistel nach Witzel-Heidenhain beim para-
lytischen Ileus.
Zentralbl. f. Chir. 95, 1113, (1970)
17. CODE, C. F., N. C. HIGHTOWER, C. G. MORLOCK: Motility of
the alimentary canal in man.
Am. J. Med. 13, 328, (1952)
18. COLOMBO, O.: Zur Frage des postoperativen Ileus.
Chirurg, 5, 215 (1963)
19. DEMLING, L., R. OTTENJANN: Gastrointestinal Motility.
Internationales Symposion.
G. Thieme-Verlag, Stuttgart (1971)
20. EFFENHAUSER, P.: Die Stimulation des Dünndarms.
Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, 1973
(noch nicht veröffentlicht)
21. FRANK, J.: Über die Beeinflussung der postoperativen
Darmmotilität , insbesondere durch Aldosteron-
Antagonisten.
Chirurg, 37, 116, (1966)

22. HABERICH, F.J.: Die physiologischen Grundlagen der Darmmotilität.
In: Postoperative Störungen des Elektrolyt- und Wasserhaushaltes. Pathophysiologie und Therapie.
F.K. Schattauer-Verlag, Stuttgart-New York (1970)
23. HAMELMANN, H., H. PICHLMAIER: Die Bedeutung langer Darmsonden bei der Ileusbehandlung.
Chirurg, 32, 555, (1961)
24. HARROWER, H.W.: Postoperativer Ileus.
Am.J.Surg. 116, 369, (1968)
25. HASSELBRACK, R., J.E. THOMAS: Control of intestinal rhythmic contractions by a duodenal pacemaker.
Am.J.Phys. 210, 955, (1961)
26. HEGEMANN, G., H. GRIMM: Ileus.
Chir.Praxis, 1, 15, (1961)
27. HERDEN, H.N.: Peritonitis.
In: P.Lawin, Praxis der Intensivbehandlung.
2. Aufl., G.Thieme-Verlag, Stuttgart (1971)
28. HIGHTOWER, N.C., Jr., Ch.F. CODE, F.T. MAKER: A method for the study of gastrointestinal motor activity in human beings.
Proc.Staff Meet., Mayo Clinics, 24, 453, (1949)
29. HIGHTOWER, N.C., Jr.: The registration of gastrointestinal intraluminal pressures in man. The comparison of a balloon method and a direct-pressure-measuring method of recording.
Thesis, 1952 University of Minnesota Graduate School
30. HURWITZ, A.: A new dual-purpose gastrotomy tube.
Arch. Surg. 77, 79 (1958)
31. KANTROWITZ, A.: Studies in electrical stimulation of the adynamic bowel.
Am.J.of Gastroenterology, 57, (1964)

32. KATONA, F., J. BENYO, J. LANG: Erfahrungen mit der Anwendung von Quadrangulärströmen bei der direkten Elektrotherapie des dynamischen Ileus und der akuten postoperativen Darmatonie.
Wien.klin.Wschr. 71, 918, (1959)
33. KRAUS, H., E. KERN: Postoperativer Ileus. Intra- und postoperative Zwischenfälle. Ihre Verhütung und Behandlung.
Band II, Abdomen, Georg Thieme-Verlag, Stuttgart (1965)
34. LINDENSCHMIDT, Th.O., D. ALEKSIC: Der paralytische Ileus in der Chirurgie.
Chir.Praxis, 13, 597 (1969)
35. LISSE, K.: Prophylaxe und Therapie des postoperativen Ileus.
Dtsch.Ges.Wiss. 21, 2269, (1966)
36. LULLIES, H.: Peripherer Nerv.
In: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie von W.D. Keidel
Georg Thieme-Verlag, Stuttgart (1971)
37. MARGGRAF, W.: Beobachtungen über die postoperative Darmatonie nach Magenoperationen.
Langenbecks Arch.klin.Chir., 143, (1963)
38. MEYER, O.C.: Ileus.
Am. J. Gastroent. 47, 461, (1967)
39. MILLER, L.D., J.A. MACKIE, J.E. RHOADS: The pathophysiology and management of intestinal obstruction.
Surg.Clin.North.Am. 42, 1285, (1962)
40. MILTON, G.W., A.W.M. SMITH: The pacemaking area of the duodenum.
J.Physiol. 132, 100, (1956)

41. MÖRSDORF, P.: Zur Prophylaxe der postoperativen Darmatonie.
Zentralbl.Chir. 48, 2038, (1954)
42. MORAN, J.M., D.C. NABSETH: Electrical stimulation of the bowel.
Arch.Surg. 91, 449, (1965)
43. NAKAYAMA, S.: Effects of stimulation of the vagus nerve on the movements of the small intestine.
Jap.J.Phys. 15, 243, (1965)
44. PALECCHI, A.E., A.DODERO, A.RIZZO: L'impiego endovenoso della metopramide nella profilassi e nel trattamento dell'ileo in etwa pediatrica.
Russ.Arch.Chir. 7, 257, (1969)
45. PETRI, G., J.PORZASZ, J.SZENOKRADSZKY: Über die Pathogenese und eine neuartige Therapie des paralytischen Ileus.
Langenbecks Arch.klin.Chir. 322, 441, (1968)
46. POLACEK, M.A., L.YOUNT, B.CARPENTER, A.S.CLOSE: Clinical evaluation of D-pantothenyl alcohol in the treatment and prevention of paralytic ileus and urinary retention.
Surg.Gyn.Obstet. 114, 614, (1962)
47. PROSSER, C.L., A.BORTOFF: Electrical activity of intestinal muscle under in vitro conditions.
In: Handbook of physiology, section 6, alimentary tract. Vol. IV: Motility.
Edited by C.F.CODE, Washington D.C.
Am.Physiological Society, 2173 (1968)
48. QUAST, D.C., A.C.BEALL, M.E. De BAKEY: Clinical evaluation of the gastrointestinal pacemaker.
Surg. Gyn.Obst. 120, 35, (1965)
49. REIFFERSCHIED, M.: Neue Gesichtspunkte zum dynamischen Ileus.
Langenbecks Arch.klin.Chir. 308, 191, (1964)

50. REIFFERSCHIED, M., R. PHILIPP: Die praeventive
Darmschienung zur Verhütung von mechanischem
und paralytischen Ileus.
Chirurg, 36, 156 (1965)

51. REIFFERSCHIED, M.: Die Pathophysiologie des Darm-
verschlusses.
Zentralbl. Chir. 90, 1539, (1965)

52. ----- : Die postoperative Magen-Darm-Atonie.
Chir. Praxis, 9, 535 (1965)

53. SALERNO, R. A., J. M. FERRER, Jr. : A trial of D-panto-
thenyl alcohol in the treatment of paralytic
ileus and urinary retention.
Surg. Gyn. Obst. 114, 614, (1962)

54. SMITH, A. N., M. RIDWAY: Motility in the small intestine.
In: Surgical physiology of the gastrointestinal
tract.
Ed. Smith, A. N. R. C. S. Edin. public. (1963)

55. SCHLIEPHAKE, E.: Physikalische Therapie der chronischen
Obstipation. Auszug aus dem Band:
Mitt. d. 3. Europ. Kongr. d. Gesellschaft f. Gastroenterol.
Bologna Montecatini Aug. 1952

56. SCHOBINGER, R. A.: Low molecular weight dextran
(Rheomacrodex) and vasodilators in the pre-
vention of postoperative ileus.
Bull. Soc. Int. Chir. 27, 153, (1968)

57. SCHOLZ, H., L. SCHMIDT: Zur Behandlung der chronischen
Obstipation.
Ärztl. Forschung, 4, 17, (1959)

58. SCHWAIGER, M., H. OEHMIG, M. STAIB: Die nichtmechanische
Darmunwegsamkeiten.
Dtsch. med. Wschr. 49, 2490, (1970)

59. SELYE, H.: Syndrome produced by deverse noxious agents.
Nature, London, 138, 32, (1936)
60. STAIB, I.: Therapie des paralytischen Ileus.
Dtsch.med.Wschr. 86, 579, (1961)
61. SPERLING, R.: Paralytischer Ileus und Reizstrombehandlung.
Münch.med.Wschr. 18, 822, (1959)
62. ---- : Zur Behandlung der chronischen Obstipation
und anderer vegetativ dynamischer Störungen mit
Exponentialströmen.
Münch.med.Wschr. 48, 1654, (1956)
63. VILLIERS, De D.R., J.SALTIET, A.NONAYAMA: Clinical experience
in control of postoperative adynamic ileus by electro-
stimulation.
Surg.Forum, 14, 378, (1963)
64. VILLIERS, De, D .R., J.SALTIET, A.NONAYAMA, A.KANTROWITZ:
Control of postoperative adynamic bowel in dogs by
electric stimulation.
Trans.Am.Soc.Art.Int.Org. Vol. 9, 351, (1963)
65. WACHSMUTH, W.: Pathophysiologie und Klinik des Ileus.
Langenbecks Arch.klin.Chir., 308, 134, (1964)
66. WANGENSTEEN, O.H.: Intestinal obstruction.
3rd Edition, Springfield Ch.C.Thomas, 1955
67. WANJURA, H.J.: Biphasische elektrische Impulse zur
Anregung der Darmperistaltik.
Arch.kl.Ther., 4, 211, (1970)
68. WATKIN, D.F.L.: Spinal Ileus.
Brit.J.Surg. 57, 142, (1970)
69. WELLS, Ch., K.RAWLINGSON, H.JONRS, L.SAUNDERS: Post-
operative gastrointestinal motility.
Lancet. 15, 136, (1961)

70. WELLS, Ch., J. KYLE: Wissenschaftliche Grundlagen
der operativen Medizin.
F.K.Schattauer-Verlag, Stuttgart- New York (1972)
71. WENZEL, M.: Ein neues Behandlungsprinzip bei der
Therapie des postoperativen paralytischen Ileus.
Dtsch.med.J. 18,702,(1967)
72. YOUNG, W.B.: Neural regulations of gastric and
intestinal motility.
Am.J.Med. 13,209,(1952)

Druck: HOGL ERLANGEN